

「ハイドロテクト塗料
の環境影響評価」
報告書

TOTO株式会社

1 一般的事項

1.1 評価実施者

所属機関：TOTO株式会社

名 前：亀島順次、高木敏宏

連絡先：junji.kameshima@jp.toto.com, toshihiro.takagi@jp.toto.com

1.2 報告書作成日

2010/06/03

2 調査実施の目的

2.1 調査実施の理由

大気汚染物質の一つである窒素酸化物（NO_x）は、人体に悪影響を及ぼすだけでなく、光化学スモッグや酸性雨などの原因物質として知られている。主な発生源としては、工場や火力発電所、自動車、家庭など多様であるため、その発生を完全に抑制することは困難と考えられる。光触媒とは、太陽光に含まれる紫外線を利用することによって分解や親水など特異的な作用を発現する。弊社の商品であるハイドロテクト塗料は、この光触媒を利用することによってセルフクリーニング効果（防汚効果）や空気浄化効果（NO_x 除去効果）を有し、さらに高耐久性を併せ持つ塗料である。

本調査では、ハイドロテクト塗料（商品名：ECO-EX）と一般塗料（アクリルシリコン塗料）のライフサイクルを通じた環境影響評価を行うことにより、環境特性の把握および環境性能を比較したいと考えた。

2.2 調査結果の用途

ハイドロテクト塗料と一般塗料の環境影響を評価、比較することにより、ハイドロテクト塗料の環境特性を把握し、情報提供を行う。

3 調査範囲

3.1 調査対象とその仕様

日本国内で製造、施工、使用される、塗装面積 1000 m²分のハイドロテクト塗料（商品名：ECO-EX（白））および一般塗料（アクリルシリコン塗料（白））を調査対象とした。ハイドロテクト塗料と一般塗料の仕様を比較したものを表 3.1-1 に示す。ハイドロテクト塗料は下塗り層、着色バリア層、光触媒層の 3 層構造、一般塗料は下塗り層と着色層の 2 層構造となっており、本調査では塗膜構造全てを評価対象とした。ハイドロテクト塗料の着色バリア層は、一般塗料の着色層に比べ劣化しにくい塗膜であるため塗替え年数が 20 年と長い。

また、ハイドロテクト塗料はセルフクリーニング効果や空気浄化効果といった特異的な効果を有する。セルフクリーニングの効果としては外壁清掃回数の減少が想定されるが、外壁の清掃は使用者の判断によって実施しないケースが多いため調査対象から除外し、空気浄化効果のみを調査対象とした。

表 3.1-1 ハイドロテクト塗料と一般塗料の仕様比較

	ハイドロテクト塗料	一般塗料
構造	<p>3層構造</p>	<p>2層構造</p>
塗替え年数	20年※	10年
塗料使用量	375 kg	355 kg
セルフクリーニング効果	あり	なし
空気浄化効果	あり	なし

※自社評価：促進耐候性試験 SWOM 6000 時間（20 年相当） 合格

光触媒による空気浄化効果とは、空気中に存在する NO_x が塗膜表面に吸着し、光触媒の作用によって NO₃ になり、雨水等で流されることによって空気中から除去されることをいい、常温下で NO_x が低濃度でも効率的に除去できる特徴を有する¹⁾。ただし、NO_x 除去量は NO_x 濃度、風向・風速（拡散）、日射量（紫外線量）の影響による変動が大きいため、実環境における除去量を一律に述べることは困難である。そこで、本調査ではハイドロテクト塗料の NO_x 除去性能値（JIS R 1701-1）²⁾を元に換算^{***}することにより NO_x 除去量を算出した。また、空気浄化効果を窒素循環の視点で考えた場合（図 3.1-2）、ハイドロテクト表面で生成する NO₃ 量は通常の窒素循環において生成する NO₃ 量と同じと考えられるため、本調査では評価対象から除外した。

***NO_x 除去性能値（JIS R 1701-1）からの NO_x 除去量の換算方法

NO_x 除去量に与える主な因子として、NO_x の濃度や拡散状態、紫外線量が挙げられる。JIS の測定条件では供給濃度が 1 ppm と実環境より高濃度であるため、NO_x が十分に供給された条件と見なし、除去量は紫外線量のみ依存すると仮定した。JIS の測定では BLB ランプにより一定量の紫外線を照射しているので、この紫外線量に対して実環境での紫外線量を比例換算することで除去量を求めることができる。実環境での紫外線量は、標準気象・日射データ（METPV-3）³⁾を元に、東京における 14 年間（1990～2003 年）の季節（2、5、8、

11月)及び施工面(外壁垂直面4方向)に照射される日射量を平均化した上で、光触媒が利用可能な紫外線の含有率⁴⁾を積算することにより算出した。

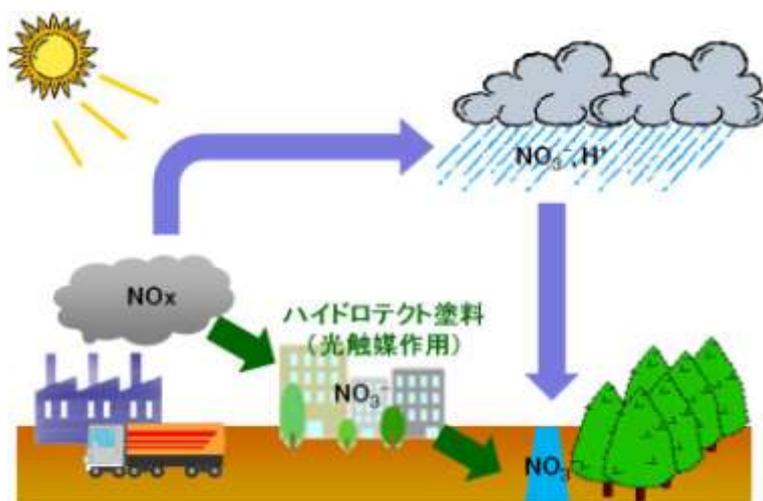


図 3.1-2 ハイドロテクト塗料における窒素循環の概念図

3.2 機能および機能単位

ハイドロテクト塗料、一般塗料ともに、白色、塗装面積 1000 m²、使用期間を 20 年とした。高耐久仕様のハイドロテクト塗料は塗替え年数が 20 年であるため、使用期間の 20 年では塗替えを行う必要がなく、塗装回数は 1 回となる(塗料総使用量 375 kg)。一方、一般塗料は塗替え年数が 10 年であるため、使用期間 20 年の間に塗替えを 1 回行う必要があり、塗装回数が 2 回となる(塗料総使用量 710 kg)。

3.3 システム境界

素材から製造、輸送、施工、使用段階まで(図 3.3-1)。

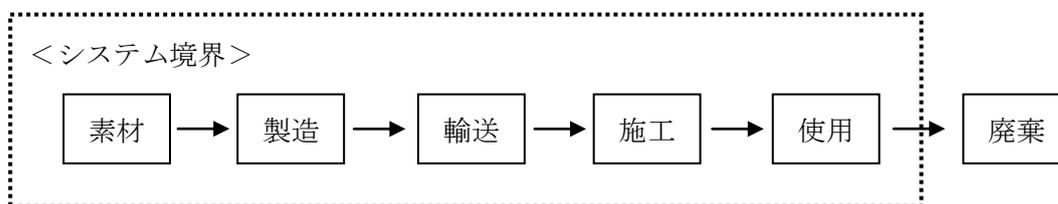


図 3.3-1 ハイドロテクト塗料および一般塗料のシステム境界

3.4 特記事項(除外したプロセス・項目等について)

廃棄は、塗装した建築物外壁と一体となって行われ、塗膜単体では実施されないため、評価対象から除外した。使用段階において想定される高圧洗浄や洗剤を用いた外壁清掃は、

使用者の判断によって実施しないケースが多いため、評価対象から除外した。

4 インベントリ分析

4.1 フォアグラウンドデータ

ハイドロテクト塗料の原料組成、輸送、施工時のエネルギー投入量、使用（NO_x 除去量）については自社調査データを使用した。NO_x 除去量は、ハイドロテクト塗料（商品名：ECO-EX）の光触媒工業会認証のNO_x 除去性能値である 1.35 μmol（JIS R 1701-1）をもとに換算することにより算出した。

4.2 バックグラウンドデータ

塗料原料、電力、輸送時のトラックのインベントリデータは、JEMAI-LCA Pro のデータベースおよびオプションデータパックを使用した。塗料製造時のエネルギー投入量、廃棄物量は、LCA 日本フォーラムのLCA データベースにて公開されている日本塗料工業会作成の建築用合成樹脂エマルジョンのアクリルエマルジョンの製造工程のデータを、一般塗料の原料組成は、日本塗料工業会のLCA ガイドブック⁵⁾に記載されている、合成樹脂エマルジョン塗料白（水系）のデータを使用した。

4.3 インベントリ分析対象項目と分析結果一覧表

ハイドロテクト塗料と一般塗料のインベントリ分析結果を表 4.3-1、表 4.3-2 に示す。

表 4.3-1 ハイドロテクト塗料の LCI 分析結果 (単位 (kg/f. u.))

		素材	製造	輸送	施工	使用	Σ	
消費 負荷	枯渇資源	石炭	3.90E+01	4.40E-01	2.07E-03	1.11E-01		3.95E+01
		原油	1.94E+02	8.16E-02	1.06E+01	2.07E-02		2.04E+02
		天然ガス	3.79E+01	2.05E-01	9.61E-04	5.18E-02		3.82E+01
		ウランウム	1.86E-03	3.87E-05	1.82E-07	9.81E-06		1.91E-03
		銅	2.30E-06					2.30E-06
		アルミニウム	1.11E-05					1.11E-05
		鉛	8.46E-08					8.46E-08
		亜鉛	4.69E-07					4.69E-07
		石灰石	1.33E+02					1.33E+02
		岩石(石灰岩除く)	3.17E+00					3.17E+00
		チタン	2.84E+01					2.84E+01
環境 排出 負荷	屋外大気	二酸化炭素	6.08E+02	2.02E+00	3.40E+01	5.11E-01		6.44E+02
		二酸化硫黄	3.69E-01	3.78E-04	7.37E-03	9.58E-05		3.77E-01
		窒素酸化物	2.24E-01	8.41E-04	8.51E-04	2.13E-04	-9.45E+01	-9.43E+01
		亜酸化窒素	2.56E-02	8.74E-05	5.47E-04	2.21E-05		2.62E-02
		メタン	1.88E-02	4.31E-05	2.03E-07	1.09E-05		1.89E-02
		非メタン揮発性有機化合物(平均)	9.78E-03	1.25E-04	3.75E-02	3.16E-05		4.74E-02
		粒子状物質(PM10)	4.61E-02	1.58E-05	5.86E-05	4.01E-06		4.62E-02
		ヒ素	1.52E-06	3.68E-08	1.73E-10	9.31E-09		1.57E-06
		カドミウム	1.26E-07	3.04E-09	1.43E-11	7.70E-10		1.30E-07
		6価クロム	2.77E-06	6.69E-08	3.14E-10	1.69E-08		2.85E-06
		総水銀	1.84E-06	4.44E-08	2.08E-10	1.12E-08		1.90E-06
		窒素酸化物(非点源)	1.59E-02	2.37E-04	1.82E-01	6.01E-05	-1.16E+02	-1.16E+02
		ニッケル	3.12E-06	7.52E-08	3.53E-10	1.90E-08		3.21E-06
		PM10(非点源)	1.17E-03	1.74E-05	1.90E-02	4.41E-06		2.02E-02
	鉛	7.30E-06	1.76E-07	8.27E-10	4.46E-08		7.52E-06	
	水域	COD	2.54E-02					2.54E-02
		ヒ素	1.10E-10					1.10E-10
		カドミウム	1.65E-11					1.65E-11
		6価クロム	3.30E-10					3.30E-10
		総水銀	1.10E-11					1.10E-11
	土壌	がれき類	3.44E-09					3.44E-09
		産業廃棄物(不明・一律)	1.46E-03	2.71E-05	1.27E-07	6.86E-06		1.49E-03
		廃プラスチック類	1.00E+00	1.00E+00				2.00E+00
銻さい		4.44E-06					4.44E-06	

表 4.3-2 一般塗料の LCI 分析結果 (単位 (kg/f.u.))

		素材	製造	輸送	施工	使用	Σ	
消費 負荷	枯渇資源	石炭	5.09E+01	8.09E-01	3.91E-03	2.23E-01		5.19E+01
		原油	3.29E+02	1.50E-01	2.01E+01	4.13E-02		3.50E+02
		天然ガス	5.30E+01	3.77E-01	1.82E-03	1.04E-01		5.34E+01
		ウランウム	2.69E-03	7.13E-05	3.44E-07	1.96E-05		2.78E-03
		銅	4.59E-06					4.59E-06
		アルミニウム	2.22E-05					2.22E-05
		鉛	1.69E-07					1.69E-07
		亜鉛	9.38E-07					9.38E-07
		石灰石	2.99E+02					2.99E+02
		岩石(石灰岩除く)	1.37E-06					1.37E-06
	チタン	6.60E+01					6.60E+01	
環境 排出 負荷	屋外大気	二酸化炭素	9.75E+02	3.71E+00	6.43E+01	1.02E+00		1.04E+03
		二酸化硫黄	5.84E-01	6.96E-04	1.39E-02	1.92E-04		5.99E-01
		窒素酸化物	3.41E-01	1.55E-03	1.61E-03	4.26E-04		3.45E-01
		亜酸化窒素	3.85E-02	1.61E-04	1.03E-03	4.43E-05		3.98E-02
		メタン	3.16E-02	7.94E-05	3.83E-07	2.19E-05		3.17E-02
		非メタン揮発性有機化合物(平均)	1.38E-02	2.30E-04	7.09E-02	6.33E-05		8.50E-02
		粒子状物質(PM10)	7.06E-02	2.92E-05	1.11E-04	8.02E-06		7.07E-02
		ヒ素	2.18E-06	6.76E-08	3.26E-10	1.86E-08		2.27E-06
		カドミウム	1.80E-07	5.60E-09	2.70E-11	1.54E-09		1.88E-07
		6価クロム	3.98E-06	1.23E-07	5.94E-10	3.39E-08		4.14E-06
		総水銀	2.64E-06	8.16E-08	3.94E-10	2.25E-08		2.74E-06
		窒素酸化物(非点源)	1.88E-02	4.36E-04	3.44E-01	1.20E-04		3.63E-01
		ニッケル	4.46E-06	1.38E-07	6.68E-10	3.81E-08		4.64E-06
		PM10(非点源)	1.39E-03	3.20E-05	3.60E-02	8.82E-06		3.74E-02
	鉛	1.05E-05	3.24E-07	1.56E-09	8.92E-08		1.09E-05	
	水域	COD	9.30E-03					9.30E-03
		ヒ素	2.20E-10					2.20E-10
		カドミウム	3.30E-11					3.30E-11
		6価クロム	6.60E-10					6.60E-10
		総水銀	2.20E-11					2.20E-11
	土壌	がれき類	6.88E-09					6.88E-09
		産業廃棄物(不明・一律)	2.20E-03	4.98E-05	2.40E-07	1.37E-05		2.26E-03
		廃プラスチック類	1.30E+00	1.84E+00				3.14E+00
		鉱さい	8.88E-06					8.88E-06

5 インパクト評価

5.1 対象とした評価ステップと影響領域

インパクト評価は日本版被害算定型影響評価手法 LIME2 を利用し、特性化、被害評価、統合化の 3 ステップについて評価を実施した。各ステップにおいて評価対象とした影響領域について表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 評価対象とした環境影響領域と評価ステップ

	特性化	被害評価	統合化
資源消費(エネルギー)	○	○	○
資源消費(鉱物)	○	○	○
地球温暖化	○	○	○
都市域大気汚染	—	○	○
オゾン層破壊			
酸性化	○	○	○
富栄養化	○	○	○
光化学オキシダント	○	○	○
人間毒性	○	○	○
生体毒性	○	○	○
室内空気質	—		
騒音	—		
廃棄物	○	○	○
土地利用	※	※	※

※：LIME 計算シートでは非対応、—：LIME の係数なし

5.2 インパクト評価結果

5.2.1 特性化

ハイドロテクト塗料と一般塗料の、地球温暖化、資源（鉱物）消費、酸性化に関する特性化結果を図 5.2-1～図 5.2-3 に示す。ハイドロテクト塗料と一般塗料はともに、地球温暖化で二酸化炭素が、資源（鉱物）消費でチタンが大部分を占めていた。表 4.3-1、表 4.3-2 の LCI 分析結果によると、これら物質は素材で数値が高くなっていることが分かる。ハイドロテクト塗料が一般塗料に対し値が小さくなっているのは、20 年使用の間に一般塗料は 2 回塗装するのに対し、ハイドロテクト塗料は 1 回塗装すれば良く、塗料の使用量が一般塗料の約半分であることが影響している。資源（鉱物）消費でのチタンは、ハイドロテクト塗料、一般塗料ともに塗料中に含まれている白色顔料の酸化チタンが大きく影響している。ハイドロテクト塗料には白色顔料の酸化チタン以外にも光触媒性能を有する特殊な酸化チタンが含まれているが、使用量が白色顔料の酸化チタンに対して 0.2% と非常に少ないため影響は小さい。また、ハイドロテクト塗料が酸性化で大きくマイナスになっているのは、空気浄化効果によって NOx が除去されることに起因している。

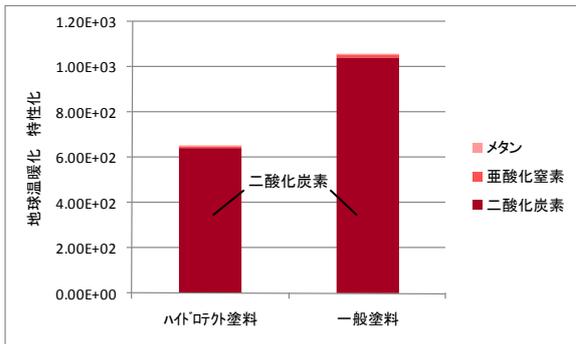


図 5.2-1 特性化結果（地球温暖化）

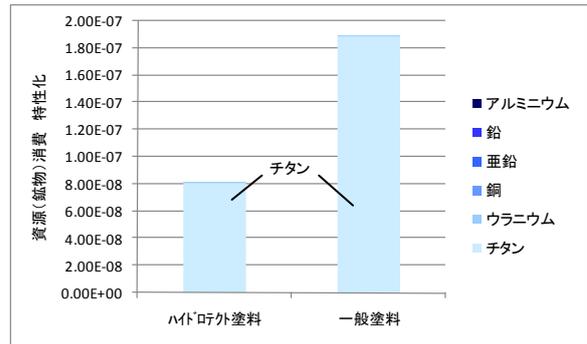


図 5.2-2 特性化結果（資源（鉱物）消費）

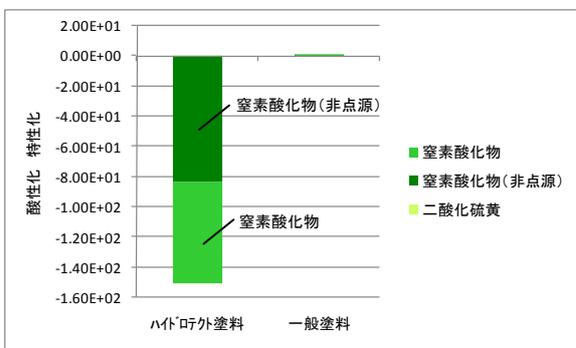


図 5.2-3 特性化結果（酸性化）

5.2.2 被害評価

図 5.2-3～図 5.2-6 に 4 つの保護対象に対する被害評価結果（物質別内訳）を示す。ハイドロテクト塗料の大きな特徴として、人間健康、社会資産、一次生産で、窒素酸化物、窒素酸化物（非点源）の被害量がマイナスになっていることが挙げられるが、これはハイドロテクト塗料の空気浄化効果による NO_x の除去が影響している。一方、ハイドロテクト塗料と一般塗料はともに、社会資産、一次生産、生物多様性の被害量でチタンが大きな割合を占めていた。

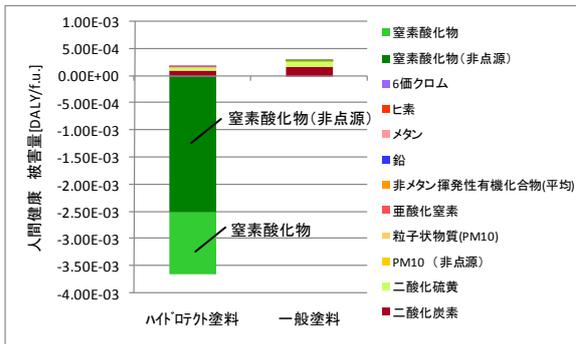


図 5.2-3 被害評価結果（人間健康）

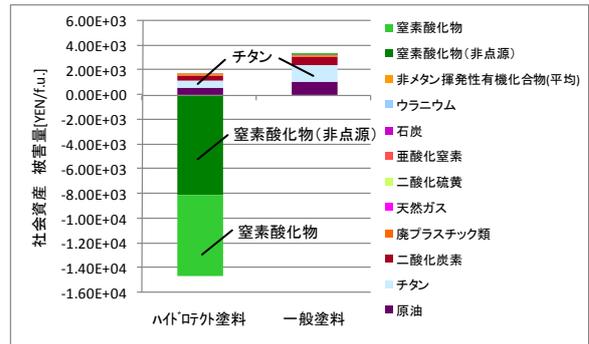


図 5.2-4 被害評価結果（社会資産）

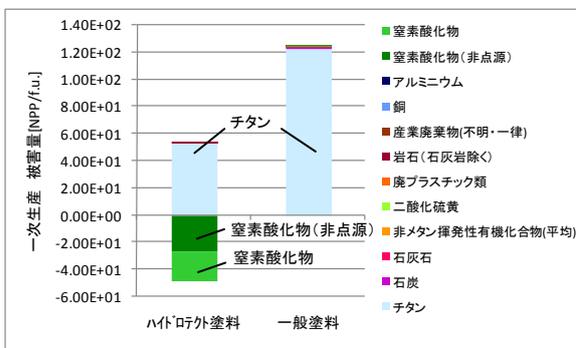


図 5.2-5 被害評価結果（一次生産）

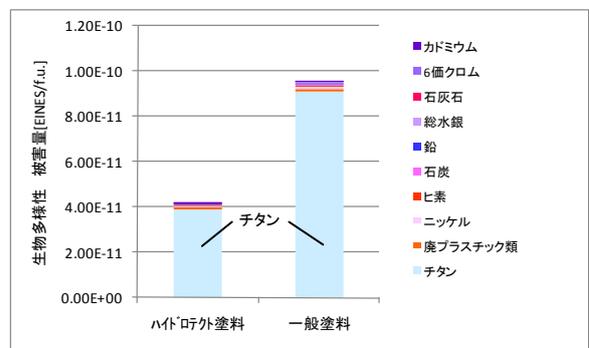


図 5.2-6 被害評価結果（生物多様性）

5.2.3 統合化

図 5.2-7～図 5.2-9 にハイドロテクト塗料と一般塗料の、物質別、プロセス別、影響領域別の統合化結果を示す。ハイドロテクト塗料は、物質別では窒素酸化物、窒素酸化物（非点源）が、プロセス別では使用が、環境領域別では、都市域大気汚染、酸性化が大きくマイナスになっている。これらは、ハイドロテクト塗料の空気浄化効果によって NOx が除去されることに起因しており、大きな特徴といえる。図 5.2-10 は、ハイドロテクト塗料と一般塗料の素材～施工（素材、製造、輸送、施工を加算したもの）、使用、合計（ライフサイクル全て（素材、製造、輸送、施工、使用）を加算したもの）別にグラフ化した統合化結果である。ハイドロテクト塗料の素材～施工における値が一般塗料に対し約半分なのは、ハイドロテクト塗料の耐久年数が一般塗料に対し 2 倍と長いことが影響している。また、ハイドロテクト塗料は使用の段階で NOx が除去されることにより大きくマイナスになるため、合計においてもマイナスとなり、両塗料の環境影響の差が大きくなっている。

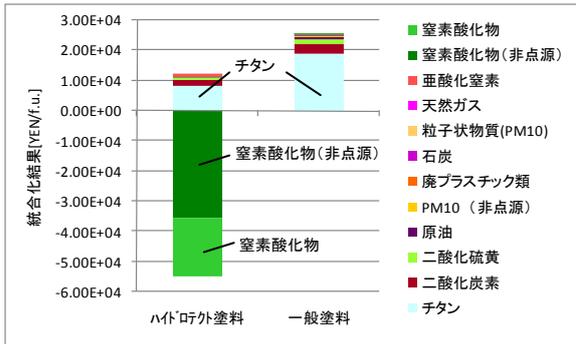


図 5.2-7 統合化結果（物質別）

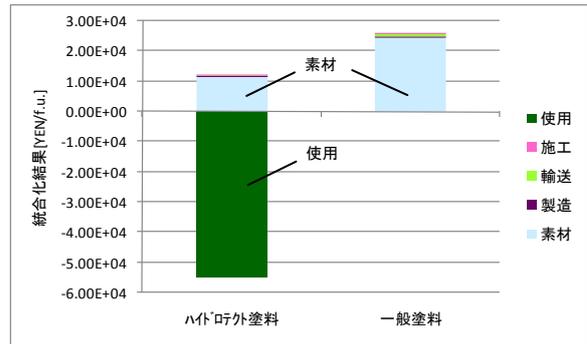


図 5.2-8 統合化結果（プロセス別）

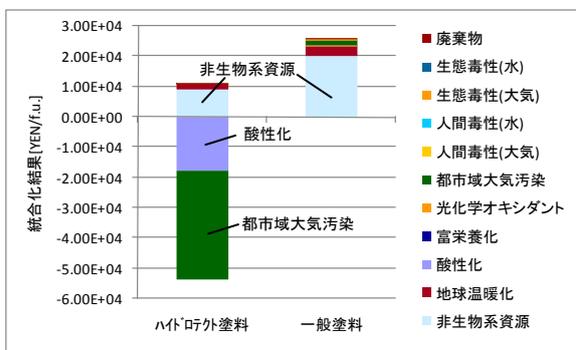


図 5.2-9 統合化結果（影響領域別）

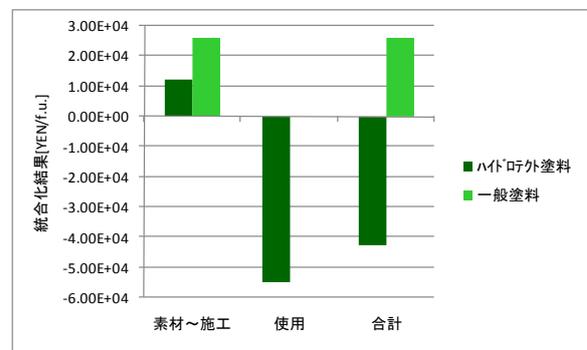


図 5.2-10 統合化結果（塗料別）

6 結論

6.1 調査結果のまとめ

ハイドロコート塗料と一般塗料を対象としてライフサイクル（素材、製造、輸送、施工、使用（1000 m²、20 年間））全体での環境影響の評価を行った。環境影響は社会コストとして、ハイドロコート塗料は4.3 万円、一般塗料は2.6 万円と算出された。今回の算出結果における両者の差には、ハイドロコート塗料の耐久年数が長いことによる塗替え回数の減少と光触媒の作用による空気浄化効果が大きく影響していた。今後、さらに環境負荷を低減させるには、「塗料の耐久年数の向上」と「NOx 除去性能の向上」が効果的であると考えられる。また、ハイドロコート塗料は算出結果が「マイナス」になったことから、ハイドロコート塗料は環境を改善する効果を有することが明らかになった。

6.2 限界と今後の課題

今回の実施した評価では、評価対象としたプロセス（素材、製造、輸送、施工、使用）の網羅性については重要なプロセスをカバーしており、結果の妥当性は担保できているものと考えられる。ハイドロコート塗料には白色顔料の酸化チタンの他に光触媒性能を有する

特殊な酸化チタンを使用しているが、今回の調査では光触媒性能を有する酸化チタンの製造時におけるエネルギー消費量を推定できなかったため、原単位としては両者とも白色顔料の酸化チタンを使用した。ただし、光触媒性能を有する酸化チタンの使用量は少ないため、評価結果に与える影響は小さいものと考えられる。同様に、塗料の容器（缶）や施工備品に関する詳細データも入手できなかったため評価に加えていない。NO_x 除去量は、実環境におけるばらつきが大きく一律に評価できないため、NO_x 除去性能値（JIS R 1701-1）をもとに反応律速で光量にのみ依存する系と仮定することによって算出した。また、本調査では光触媒の作用としてNO_x 除去効果のみを考慮したが、それ以外にSO_x の除去も効果として考えられる。しかし、SO_x に関しては除去性能の実証データが不足しており、除去量を調査できなかったため、今回の評価には加えていない。以上の点については今後、検討が必要である。

参考文献

- 1) 通商産業省 (1997) : 光触媒による大気汚染物質の除去技術の開発に関する研究
- 2) 日本規格協会 (2004) : ファインセラミックスー光触媒材料の空気浄化性能試験方法ー第1部 : 窒素酸化物の除去性能 (JIS R 1701-1)
- 3) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) : 標準気象・日射データ (METPV-3)
- 4) 柴田和雄、内嶋善兵衛 編 (1987) : 太陽エネルギーの分布と測定, 学会出版センター
- 5) 社団法人 日本塗料工業会 (2002) : (社) 日本塗料工業会の LCA ガイドブック 第1版